

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos metodológicos.....	3
1.2.3	Alcances.....	3
2	Marco técnico y teórico.....	4
2.1	Conceptos principales.....	4
2.1.1	Talud.....	4
2.1.2	Talud minero.....	4
2.1.3	Análisis de estabilidad de taludes.....	5
2.1.4	Automatización.....	11
2.2	Softwares utilizados y sus características.....	12
2.2.1	Abaqus.....	12
2.2.2	Isight.....	12
2.2.3	Python.....	13
2.2.4	Surpac.....	13
2.2.5	Whittle.....	14
3	Antecedentes.....	15
3.1	Geometría discretizada del talud.....	15
3.2	Tipo y propiedades de los elementos.....	18
3.3	Propiedades de material.....	18
3.4	Historial de simulación.....	19
3.4.1	Procedimientos de análisis.....	20
3.4.2	Fuerzas aplicadas y condiciones de borde.....	20
3.4.3	Campo de esfuerzos inicial.....	21
3.4.4	Requerimientos de salida.....	21
3.4.5	Implementación del MRR.....	21
3.4.6	Reducción del ángulo de dilatación.....	22
3.5	Criterios de convergencia de los resultados.....	22
3.5.1	Incrementación.....	22
3.6	Resultados obtenidos por otros autores.....	22
3.6.1	Resultados numéricos.....	23

3.6.2	Resultados asociados al comportamiento de la solución.....	23
3.6.3	Resultados visuales.....	25
4	Metodología.....	26
4.1	Modelo-A.....	28
4.1.1	Procedimiento de análisis de forma manual.....	28
4.1.2	Detección de variables del procedimiento manual.....	29
4.1.3	Automatización.....	29
4.1.4	Diseño de experimentos para el Modelo-A.....	30
4.1.5	Efecto del ángulo de dilatación.....	32
4.2	Modelo-B.....	34
4.2.1	Obtención de secciones en 2D.....	34
4.2.2	Automatización de la generación de secciones en 2D.....	34
4.2.3	Separación de paredes contenidas en la misma sección.....	35
4.2.4	Generación del modelo de elementos finitos.....	36
4.2.5	Integración de los procedimientos.....	38
4.2.6	Diseño de experimentos para el Modelo-B.....	40
5	Implementación y resultados.....	41
5.1	Modelo-A.....	41
5.1.1	Automatización del modelo.....	41
5.2	Modelo-B.....	42
5.2.1	Automatización del modelo.....	42
5.2.2	Resultados visuales.....	48
6	Análisis de resultados.....	50
6.1	Modelo-A.....	50
6.1.1	Automatización del modelo.....	50
6.1.2	Diseño de experimentos.....	50
6.2	Modelo-B.....	52
6.2.1	Automatización del modelo.....	52
6.2.2	Diseño de experimentos.....	53
6.2.3	Resultados visuales.....	54
7	Conclusiones.....	55
8	Bibliografía.....	58
9	Anexos.....	61
9.1	Características de Abaqus.....	61

9.1.1	Productos principales.....	61
9.1.2	Etapas de un análisis en Abaqus.....	61
9.1.3	Componentes de un modelo en Abaqus	62
9.1.4	Otros conceptos asociados a Abaqus.....	65
9.2	Terminología y herramientas de análisis de resultados asociadas a Isight	67
9.2.1	Experimento	67
9.2.2	Factores estudiados.....	67
9.2.3	Niveles y tratamientos	67
9.2.4	Error aleatorio.....	68
9.2.5	Diseño completamente al azar	68
9.2.6	Análisis de varianza.....	68
9.2.7	Diseño factorial.....	68
9.2.8	Matriz de diseño	68
9.2.9	Efecto de un factor.....	68
9.2.10	Tabla de ANOVA.....	69
9.2.11	Gráfico de efectos principales	69
9.2.12	Gráfico de Pareto	70
9.3	Detección de variables del procedimiento manual del Modelo-A.....	70
9.3.1	Geometría discretizada del talud	70
9.3.2	Tipo y propiedades de los elementos.....	72
9.3.3	Propiedades del material.....	72
9.3.4	Historial de simulación.....	72
9.3.5	Procedimientos de análisis	73
9.3.6	Criterios de convergencia de los resultados	75
9.4	Resultados del Modelo-A	75
9.4.1	Incertidumbre en las variables de entrada	75
9.4.2	Incertidumbre en las variables de diseño.....	82
9.4.3	Resultados visuales.....	98
9.4.4	Efecto del ángulo de dilatación.....	102
9.5	Resultados del Modelo-B.....	103
9.5.1	Tabla de resultados de ejemplo	103
9.6	Análisis del Modelo-A.....	106
9.6.1	Incertidumbre en las variables de diseño.....	106
9.6.2	Resultados visuales.....	109